

KEMAMPUAN *SELF PURIFICATION* KALI SURABAYA, DITINJAU DARI PARAMETER ORGANIK BERDASARKAN MODEL MATEMATIS KUALITAS AIR

Novirina Hendrasarie ^{*)} dan Cahyarani ^{**)}

^{*)} Staf pengajar dan ^{**)} Alumni

Progdi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Jl. Raya Rungkut Madya. Surabaya 60294

Telp. (031) 8782087

E-mail: hendrasarie@yahoo.com

ABSTRAK

Parameter DO dan BOD adalah indikator pencemaran organik yang sangat berpengaruh pada tingkat kualitas air Kali Surabaya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperkirakan model matematis yang mendekati karakteristik kualitas air Kali Surabaya. Penelitian dilakukan dengan melakukan analisa terhadap parameter fisikokimia yaitu DO, BOD, pH dan suhu. Sedangkan model matematika pemurnian alami (self purification) yang digunakan adalah model Streeter – Phelps (1925) dan model O’ Connor – Dobbin’s (1956). Dari hasil penelitian didapatkan bahwa Kali Surabaya mempunyai karakteristik koefisien deoksigenasi pada range 0,03 – 1,58 /hari, koefisien reaerasi pada range 0,7 – 3,9 /hari, DO jenuh antara 7,253 – 7,357 mg/l dan koefisien dispersi pada range 0,217 – 4,474 m²/detik Koefisien tersebut sangat mempengaruhi perhitungan model kualitas air, baik perhitungan model Streeter – Phelps maupun model O’Connor – Dobbin’s. Dan model yang lebih mendekati kondisi di Kali Surabaya adalah Model O’Connor – Dobbin’s karena nilai perkiraan kesalahan rata – rata model O’Connor – Dobbin’s lebih kecil yaitu 0,19 untuk DO dan 3,14 untuk BOD sedangkan rata – rata model Streeter – Phelps adalah 0,61 untuk DO dan 5,16 untuk BOD. Pada jarak yang lebih panjang, kemampuan pemurnian alami (self purification) sungai yang terjadi, akan semakin bagus, dengan kondisi sungai tanpa ada input dari luar.

Kata kunci: model, sungai, pemurnian alami

ABSTRACT

DO and BOD value measurement are pollutant organic indicators very influential to recognize level of Surabaya River quality. The purpose of this research is estimating mathematical model closer by characteristic of Surabaya River quality. This research done by analyzing of physicochemical that are Dissolved Oxygen (DO), Biochemical Oxygen Demand (BOD), pH and temperature. While self purification mathematical model used are Streeter-Phelps model (1925) and O’Connor-Dobbins model (1956). From this research got that Surabaya River have deoxygenating coefficient range 0,03 – 1,15 / day, reaeration coefficient range 0,7 – 3,9 / day, DO saturation range 7,253 – 7,357 mg/l and dispersion coefficient range 0,217 – 4,474 m²/detik. Those coefficient very influencing water quality model calculations, from Streeter-Phelps model either O’Connor-Dobbins model. Model that more approaching Surabaya River condition is O’Connor-Dobbins model, because estimated error average value of O’Connor-Dobbins model smaller are 0,19 for DO and 3,14 for BOD, while Streeter-Phelps model are 0,61 for DO and 5,16 for BOD. At longer distance, ability of self purification river will be better, with river condition without input from outside.

Keywords: the model, river, self purification

PENDAHULUAN

Air permukaan Kali Surabaya merupakan bahan baku pokok PDAM Kota Surabaya selama ini (Data Primer : Salim, 2007). Tapi ironisnya, di sepanjang aliran Kali Surabaya banyak sekali terdapat industri yang juga membuang limbah ke sungai tersebut, ditambah lagi limbah rumah tangga dari pemukiman liar sepanjang sungai. Alam sebenarnya memiliki kemampuan mengatasi masalah pencemaran yang terjadi. Mekanisme ini, disebut *self purification* itu. *Self Purification* adalah pemurnian diri; upaya pemurnian air dari zat pencemar yang terkandung di dalamnya oleh proses alamiah tanpa adanya pengaruh aktivitas manusia atau salah satu kemampuan lahan basah dalam menyimpan air.

Hanya, *self-purification* atau daya dukung alam hanya bisa muncul pada kondisi pencemaran tertentu. Yang terjadi belakangan, ketika bersentuhan dengan peradaban modern, tingkat pencemaran sudah melebihi ambang batas atau kapasitas daya dukung alam.

Tujuan penelitian ini adalah menentukan model matematis yang mendekati kondisi Kali Surabaya berdasarkan parameter organik DO dan BOD.

TINJAUAN PUSTAKA

Pemurnian Alami (*Self Purification*) Pada Sungai

Alam sebenarnya memiliki kemampuan mengatasi masalah pencemaran yang terjadi. Mekanisme yang disebut *self purification* itu, lahir bersamaan dan ada dalam diri alam dari zaman ke zaman. Hanya, *self purification* atau daya dukung alam hanya bisa muncul pada kondisi pencemaran tertentu. Yang terjadi belakangan, ketika bersentuhan dengan peradaban modern, tingkat

pencemaran sudah melebihi ambang batas atau kapasitas daya dukung alam.

Pengembangan pemurnian alami (*self purification*) terdiri dari beberapa zona yaitu :

1. Zona air bersih, zona ini terdapat jauh di hulu sungai, jauh dari sumber pencemaran indikatornya adalah masih dapat dimanfaatkan sebagai bahan air minum
2. Zona Dekomposisi, zona ini terdapat pada daerah sumber pencemaran, limbah yang mengalir akan didekomposisi/dioksidasi proses pembongkaran bahan organik oleh bakteri dan mikroorganisme. Indikator daerah ini kaya akan bakteri dan mikroorganisme
3. Zona Biodegradasi, pada daerah ini terjadi penurunan oksigen terlarut Dissolved Oxygen. Sehingga nilai COD di perairan sangat tinggi.
4. Zona pemulihan, pada zona ini kualitas air kembali bersih, nilai oksigen terlarut kembali normal

Perhitungan Model Matematis *Self Purification*

1. Perhitungan Model Streeter – Phelps Persamaan Streeter – Phelps (1925) dalam Chapra (1997) dan Lamb (1985) :

$$D = \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t}) + D_0 e^{-K_2 t} \quad (1)$$

Dengan : D = oksigen deficit pada setiap titik

D_0 = oksigen deficit pada titik awal ($t=0$)

L_0 = konsentrasi BOD

K_1 = koefisien

deoksigenasi

K_2 = koefisien reaerasi

t = waktu tempuh antara dua titik

2. Koefisien Dispersi Longitudinal Harlemen (1964) dalam Purnomo (1993) mengembangkan cara untuk mencari koefisien dispersi longitudinal pada aliran yang bergejolak sebagai berikut :

$$D_L = 63,34 n \left(\frac{2}{\pi} U_T \right) R_H^{5/6} \dots\dots\dots(2)$$

Dengan, DL = koefisien dispersi longitudinal untuk aliran yang bergejolak (m²/detik)

U_T= kecepatan aliran (m/detik)

R_H= hidraulik radius (m)

n= faktor kekasaran Manning's, (0,03 untuk aliran lurus dengan sedikit rumput)

3. Perhitungan Model O'Connor – Dobbin's

$$Dx = Ds - \frac{K_1 \left(e^{\frac{K_1 x}{U - Ex}} - e^{\frac{K_2 x}{U - Ex}} \right) Lo}{K_2 - K_1} - (Ds - Do) e^{\frac{K_2 x}{U - Ex}} \dots\dots(3)$$

Dengan, Dx = Konsentrasi DO pada titik x (mg/l)

Ds= DO jenuh (mg/l)

K₁= koefisien deoksigenasi (hari-1)

$$k_{1(T^{\circ}C)} = k_{1(20^{\circ}C)} \times 1.047^{(T-20)}$$

....(4)

Dengan :

k_{1(T[°]C)} = Koefisien deoksigenasi pada temperatur T

k_{1(20[°]C)} = Koefisien deoksigenasi pada T = 20[°]C

T = Temperatur (°C)

K₂ = koefisien reaerasi (hari -1)

$$k_{2(T^{\circ}C)} = k_{2(20^{\circ}C)} \times 1.0238^{(T-20)} \dots\dots\dots(5)$$

Dengan :

k_{2(T[°]C)} = Koefisien reaerasi pada temperatur T

k_{2(20[°]C)} = Koefisien reaerasi pada temperatur 20[°]C

T = Temperatur (°C)

x = jarak (m)

U = kecepatan aliran (m/hari)

Ex = koefisien difusi Eddy / koefisien dispersi longitudinal (m²/hari)

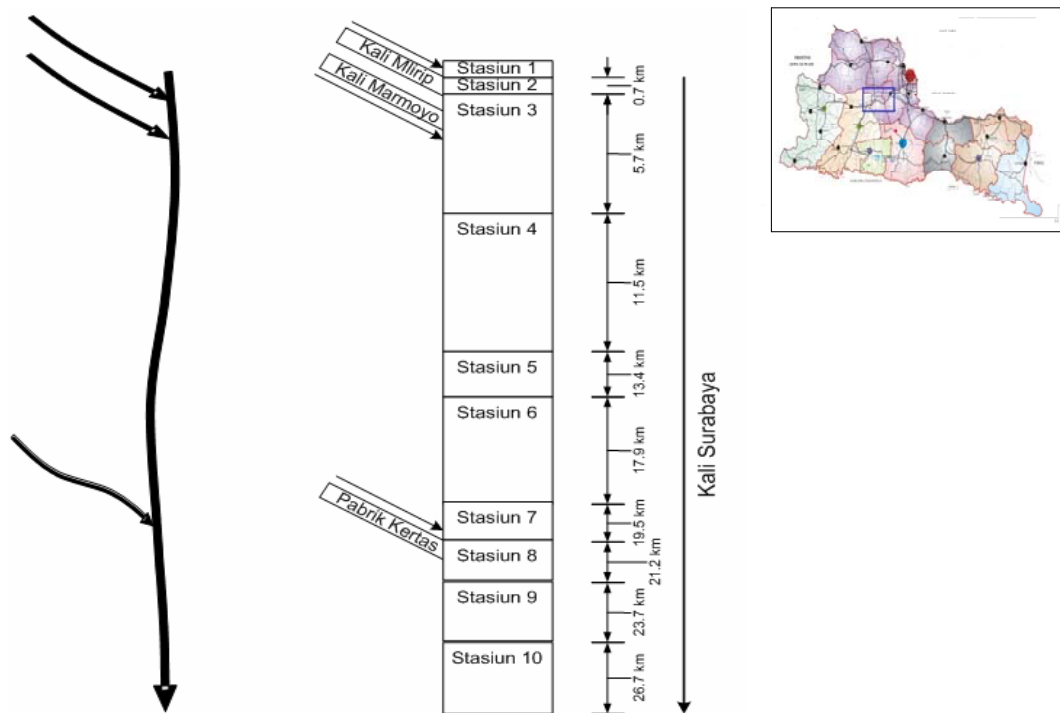
Lo = BOD pada titik sebeelumnya (mg/l)

Do = DO pada titik awal (mg/l)

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Pengambilan sampel dilakukan sebanyak tiga kali yaitu satu kali pada April 2008 (Musim Hujan) dan dua kali bulan Agustus 2008 (Musim Kemarau). Lokasi penelitian yang dilakukan adalah di hulu Kali Surabaya yaitu daerah Cangg, Mojokerto karena dinilai penambahan inffluent dari industri masih sedikit dan inffluent dari anak sungai masih belum banyak pencemar.



Gambar 1. Sketsa kali Surabaya dengan input anak sungai dan buangan industri

HASIL DAN PEMBAHASAN

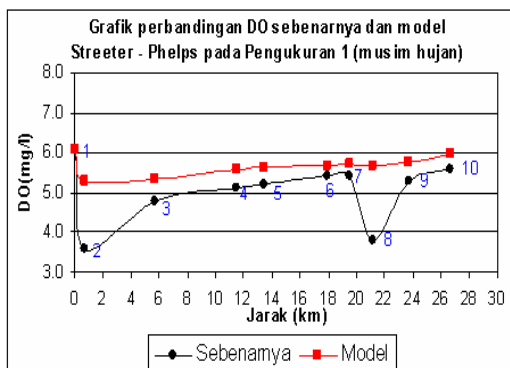
Hasil Perhitungan Model Matematis *Self Purification* Rumusan Streeter – Phelps

Penerapan model matematis pemurnian alami (*self purification*) dengan rumusan Streeter – Phelps yang telah dikemukakan dalam Metodologi Penelitian, dengan memasukkan variasi koefisien – koefisien yang telah

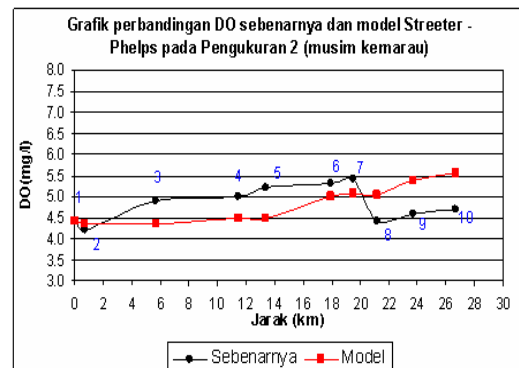
dihitung sebelumnya, dapat dihitung nilai DO dan BOD model. Hasil perhitungan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Hasil Perhitungan Model Streeter – Phelps

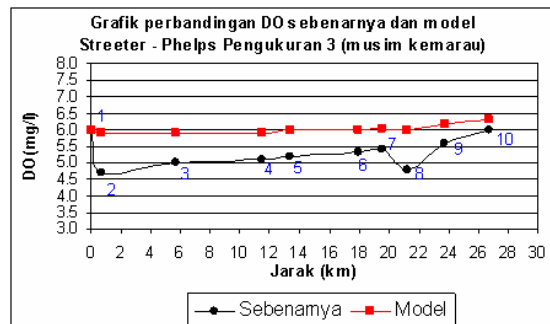
Hasil perhitungan model matematis pemurnian alami Kali Surabaya pada musim hujan, dapat ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2. Perbandingan DO pada pengukuran I



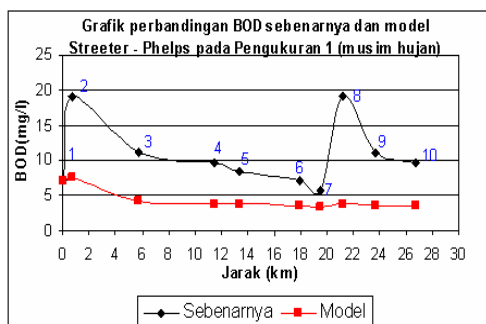
Gambar 3. Perbandingan DO pada pengukuran II



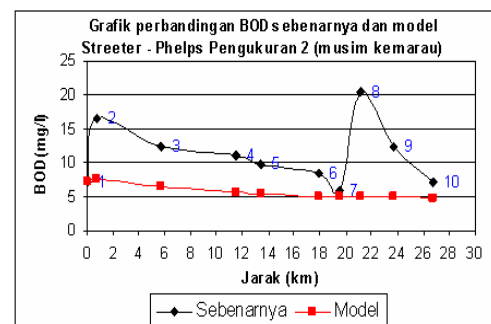
Gambar 4. Perbandingan DO pada pengukuran III

Selisih besaran konsentrasi DO pada perhitungan menggunakan model Streeter – Phelps lebih kecil dibandingkan selisih besaran konsentrasi BOD. Hal ini disebabkan acuan DO awal yang digunakan pada perhitungan model tidak dari angka DO sebenarnya pada stasiun sebelumnya melainkan dari perhitungan rumusan, hanya DO pada stasiun 1 saja yang digunakan untuk acuan DO awal.

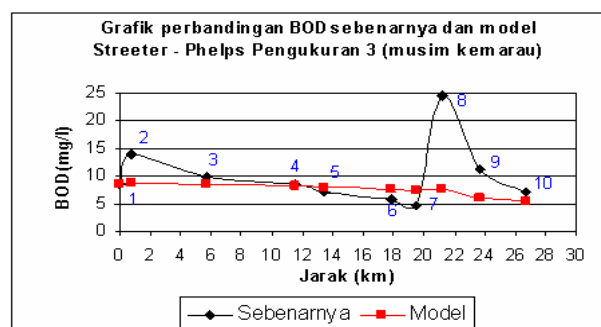
Angka DO sebenarnya dari tiap stasiun mempunyai selisih yang kecil tiap stasiun penelitian, sedangkan angka DO model juga mempunyai selisih angka yang kecil pada perhitungan tiap stasiun. Ini membuat nilai perbedaan atau perkiraan kesalahan pada perbandingan konsentrasi DO sebenarnya dan DO model Streeter – Phelps sedikit.



Gambar 5. Perbandingan BOD pada pengukuran I



Gambar 6. Perbandingan BOD pada pengukuran II



Gambar 7. Perbandingan BOD pada pengukuran III

Pada parameter BOD sebenarnya dan BOD model Streeter – Phelps mempunyai angka perbedaan atau perkiraan kesalahan yang besar. Hal ini dikarenakan angka konsentrasi BOD sebenarnya di lapangan mempunyai perbedaan angka yang besar pada tiap stasiun penelitian, sedangkan pada perhitungan modelnya angka BOD dari stasiun satu ke yang lainnya hanya sedikit angka perbedaannya. Selain itu, acuan BOD awal yang digunakan pada perhitungan model tidak dari angka BOD sebenarnya pada stasiun sebelumnya melainkan dari perhitungan rumusan, hanya BOD pada stasiun 1 saja yang digunakan untuk acuan perhitungan BOD. BOD terus mengalami penurunan karena tidak adanya input dari anak sungai ataupun air buangan, dan ini membuktikan bahwa sungai mempunyai kemampuan untuk pemurnian alami (*self purification*) tanpa treatment, dengan

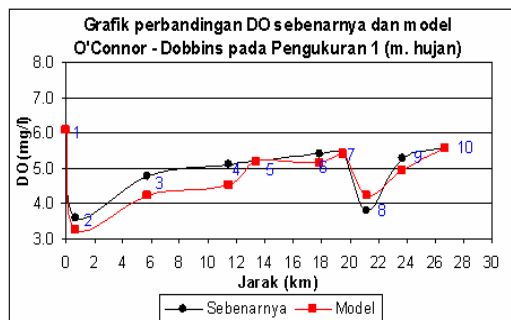
transfer oksigen yang cukup dari udara ke dalam air

Hasil Perhitungan Model Matematis *Self Purification* Rumusan O'Connor – Dobbins

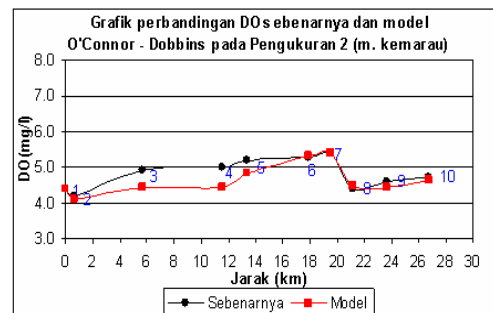
Penerapan model matematis pemurnian alami (*self purification*) dengan rumusan O'Connor – Dobbins yang telah dikemukakan dalam Metodologi Penelitian, dengan memasukkan variasi koefisien – koefisien yang telah dihitung sebelumnya, dapat dihitung nilai DO dan BOD model. Hasil perhitungan tersebut adalah sebagai berikut:

a. Hasil Perhitungan Model O'Connor – Dobbins

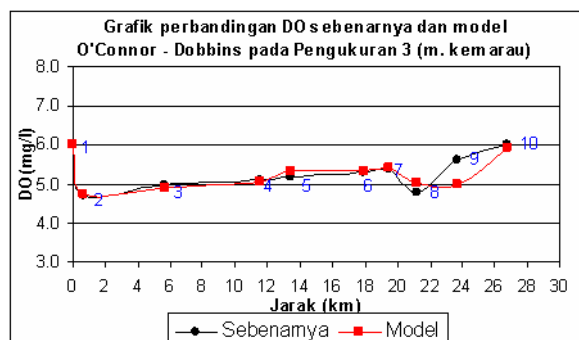
Hasil perhitungan model matematis pemurnian alami Kali Surabaya pada musim hujan, dapat ditunjukkan pada grafik berikut:



Gambar 8. Perbandingan DO pada pengukuran I



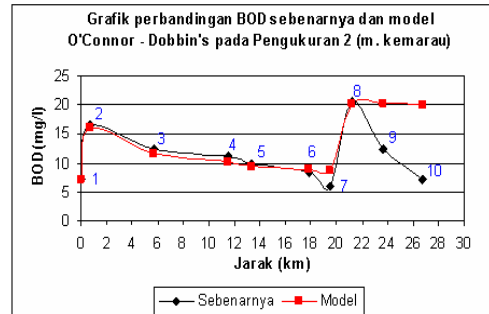
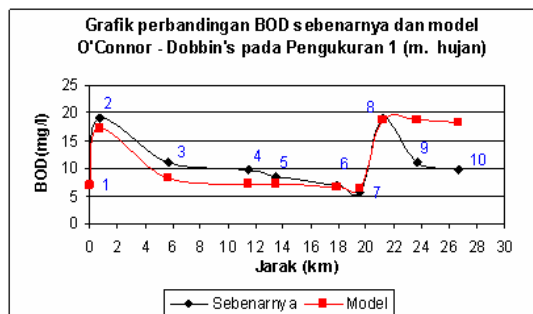
Gambar 9. Perbandingan DO pada pengukuran II



Gambar 10. Perbandingan DO pada pengukuran I

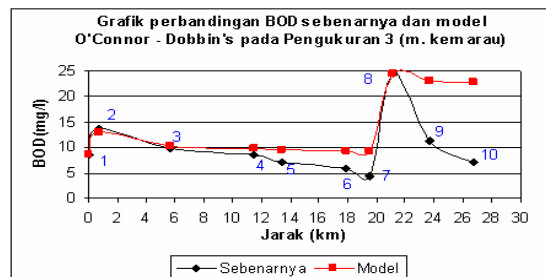
Angka DO sebenarnya dari tiap stasiun mempunyai selisih yang kecil tiap stasiun penelitian, begitu juga angka DO model juga mempunyai selisih angka yang kecil pada perhitungan tiap stasiun. Ini membuat nilai perbedaan atau perkiraan kesalahan pada perbandingan konsentrasi DO sebenarnya dan DO model O'Connor – Dobbin's sedikit. Pada KM 0,7 (stasiun 2) terjadi penurunan DO akibat input dari anak sungai, sedangkan pada KM

21,2 (stasiun 8) terjadi penurunan DO akibat input dari buangan limbah pabrik kertas. Pada KM 11,5 (stasiun 3) sampai dengan KM 19,5 (stasiun 7) DO terus mengalami kenaikan karena tidak adanya input dari anak sungai ataupun air buangan, dan ini membuktikan bahwa sungai mempunyai kemampuan untuk pemurnian alami (*self purification*) tanpa treatment, dengan transfer oksigen yang cukup dari udara ke dalam air.



Gambar 11. Perbandingan BOD pada pengukuran I

Gambar 12. Perbandingan BOD pada pengukuran II



Gambar 11. Perbandingan BOD pada pengukuran III

Pada perhitungan BOD sebenarnya dan BOD model O'Connor – Dobbin's mempunyai angka perbedaan atau perkiraan kesalahan yang kecil juga, berbeda dengan perbandingan BOD model Streeter – Phelps dengan BOD sebenarnya yang mempunyai perbedaan atau perkiraan kesalahan yang besar. Hal ini dikarenakan perbedaan acuan perhitungan BOD awal untuk perhitungan tiap stasiun penelitian. Pada model O'Connor – Dobbin's, angka

BOD sebenarnya masih digunakan pada perhitungan model. Pada KM 0,7 (stasiun 2) terjadi kenaikan konsentrasi BOD akibat input dari anak sungai, sedangkan pada KM 21,2 (stasiun 8) terjadi kenaikan konsentrasi BOD akibat input dari buangan limbah pabrik kertas. Hal ini disebabkan pencampuran BOD dari Kali Mlirip dan buangan pabrik kertas yang mempunyai konsentrasi BOD tinggi dengan debit sungai rendah sehingga oksigen yang

masuk ke dalam air berkurang dan menyebabkan kebutuhan oksigen untuk (stasiun 3) sampai dengan KM 19,5 (stasiun 7) BOD terus mengalami penurunan karena tidak adanya input dari anak sungai ataupun air buangan, dan ini membuktikan bahwa sungai mempunyai kemampuan untuk pemurnian alami (*self purification*) tanpa treatment, dengan transfer oksigen yang cukup dari udara ke dalam air

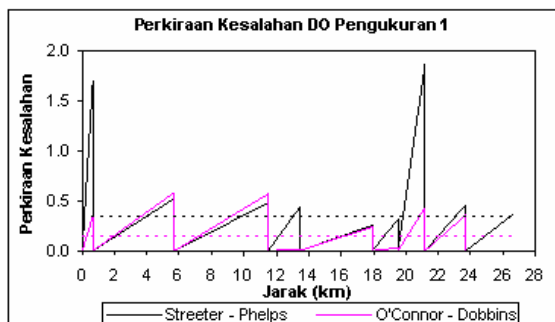
Jadi, nilai konsentrasi DO dan BOD model O'Connor – Dobbin's lebih mendekati nilai DO dan BOD sebenarnya di lapangan dibandingkan dengan pendekatan dengan rumus model Streeter – Phelps. Hal ini dapat dilihat dari perbedaan nilai keduanya atau perkiraan kesalahan yang terjadi, untuk model O'Connor – Dobbin's lebih kecil dibandingkan dengan model Streeter –Phelps. Hal lain yang menyebabkan nilai konsentrasi DO dan BOD model O'Connor – Dobbin's lebih

material organik di dalam air meningkat. Pada KM 11,5 mendekati nilai DO dan BOD sebenarnya di lapangan dibandingkan dengan pendekatan dengan rumus model Streeter – Phelps adalah dikarenakan pada model O'Connor – Dobbin's ada penambahan parameter koefisien yang ikut dihitung pada rumusannya yaitu koefisien disperse longitudinal.

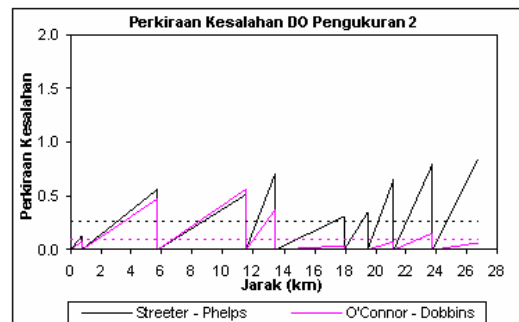
Perbandingan Perkiraan Kesalahan (*Estimated Error*) Perhitungan Rumusan Streeter – Phelps dengan Rumusan O'Connor – Dobbin's

Dari evaluasi hasil perhitungan model matematis pemurnian alami (*Self Purification*) Rumusan Streeter – Phelps dan Rumusan O'connor – Dobbins, dibuat grafik perbandingan antara nilai DO dan BOD sebenarnya dengan nilai DO dan BOD model sebagai berikut :

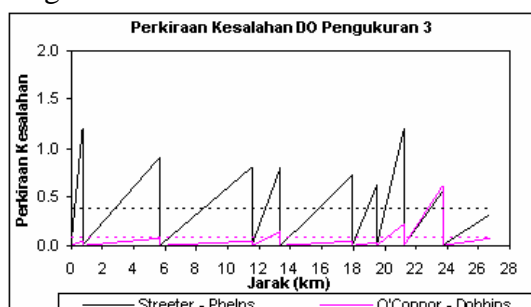
a. Perbandingan Perkiraan Kesalahan (*estimated error*) Pengukuran DO



Gambar 12. Perbandingan Perkiraan Kesalahan DO Pengukuran I



Gambar 13. Perbandingan Perkiraan Kesalahan DO Pengukuran II

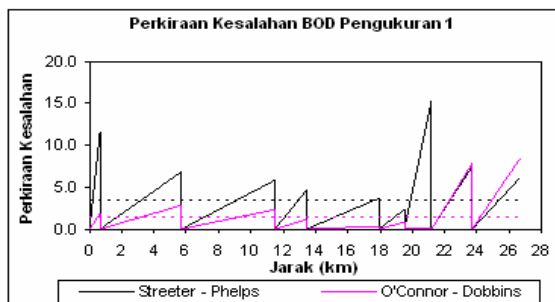


Gambar 14. Perbandingan Perkiraan Kesalahan DO Pengukuran III

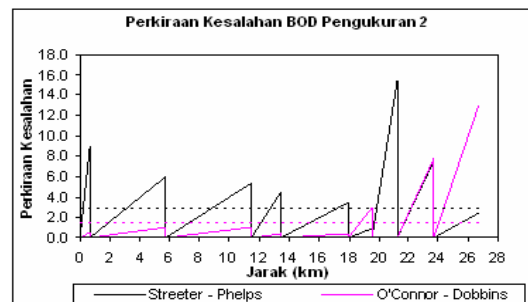
Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa perkiraan kesalahan (*estimated error*) model Streeter – Phelps, pada pengukuran I ada dalam kisaran = 0,00 – 1,87 sedangkan model. O'Connor – Dobbin's ada dalam kisaran = 0,00 – 0,58. Pada pengukuran II, model Streeter – Phelps ada dalam kisaran = 0,00 – 0,84 sedangkan model. O'Connor – Dobbin's ada dalam kisaran = 0,00 – 0,56. Pada pengukuran III, model Streeter – Phelps ada dalam kisaran = 0,00 – 1 20, angka kesalahan tinggi pada

semua stasiun penelitian, sedangkan model. O'Connor – Dobbin's ada dalam kisaran = 0,00 – 0,61. Hal ini menunjukkan bahwa model O'Connor – Dobbin's mempunyai rata – rata perkiraan kesalahan lebih kecil yaitu : 0.19. Dibandingkan dengan rata rata perkiraan kesalahan model Streeter – Phelps : 0.61. Pada model Streeter – Phelps nilai perkiraan kesalahan tinggi di KM 0,7 dan KM 21,2 karena ada input anak sungai dan buangan industri.

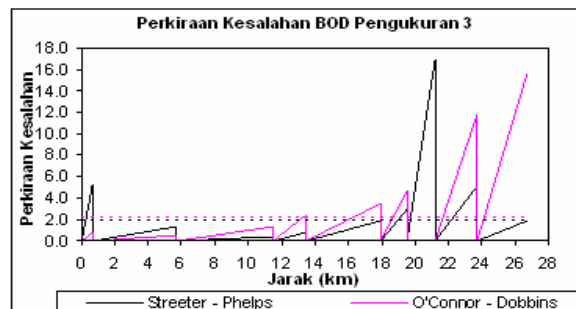
b. Perbandingan Perkiraan Kesalahan (*estimated error*) Pengukuran BOD



Gambar 15. Perbandingan Perkiraan Kesalahan BOD Pengukuran I



Gambar 16. Perbandingan Perkiraan Kesalahan BOD Pengukuran II



Gambar 17. Perbandingan Perkiraan Kesalahan DO Pengukuran III

Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa perkiraan kesalahan (*estimated error*) model Streeter – Phelps, pada pengukuran I dalam kisaran = 0,00 – 15,33 sedangkan model. O'Connor – Dobbin's dalam kisaran = 0,00 – 8,55. Pada pengukuran II, model Streeter – Phelps dalam kisaran = 0,00 – 15,46 sedangkan model. O'Connor –

Dobbin's ada dalam kisaran = 0,00 – 12,99. Pada pengukuran III, model Streeter – Phelps ada dalam kisaran = 0,00 – 16,94 sedangkan model. O'Connor – Dobbin's ada dalam kisaran = 0,00 – 15,64. Hal ini menunjukkan bahwa model O'Connor – Dobbin's mempunyai rata – rata perkiraan kesalahan lebih kecil yaitu :

3.11 dibandingkan dengan rata rata perkiraan kesalahan model Streeter – KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada parameter hidrogeometrik (kedalaman, lebar, debit dan kecepatan arus sungai) dan parameter fisikokimia (DO, BOD, derajat keasaman (pH). dan temperatur) serta koefisien penelitian (koefisien reaerasi, koefisien deoksigenasi, koefisien dispersi longitudinal, DO jenuh) sangat berpengaruh dalam memperkiraan perhitungan model matematis pemurnian alami (*self purification*) di Kali Surabaya dengan beberapa model, baik model Streeter – Phelps dan model O'Connor – Dobbin's.
2. Model yang lebih mendekati kondisi di Kali Surabaya adalah Model O'Connor – Dobbin's karena nilai perkiraan kesalahan rata – rata model O'Connor – Dobbin's lebih kecil yaitu 0,19 untuk DO, dan 3,11 untuk BOD sedangkan rata – rata model Streeter – Phelps adalah 0,61 untuk DO, dan 5,16 untuk BOD.
3. Jarak yang lebih panjang, kemampuan pemurnian alami (*self purification*) sungai yang terjadi akan semakin bagus, dengan kondisi sungai tanpa ada input dari luar. Pada jarak 5 km dari input anak sungai, DO mengalami kenaikan yang lebih besar sampai 0,96 mg/l dari DO awal, dibandingkan dengan pada jarak 2,5 km dari input industri yang hanya mengalami kenaikan sampai 0,71 mg/l dari DO awal.

Phelps yaitu : 5.16

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, P.W., 2007, *Indeks Keanekaragaman makroinvertebrata Benthos dan Kualitas Kali Surabaya*, Program Skripsi Teknik Lingkungan UPN "Veteran" Jatim, Surabaya
- Chapra, S.C, 1997, *Surface Water – Quality Modeling*, Mc Graw Hill Companies, Inc., Singapore
- Ciptomulyono, Udisubakti, 2007, *Manajemen Kualitas Air Kali Surabaya*
- Dewi, T.K., 2007, *Pengaruh Kecepatan Arus Terhadap Keanekaragaman Plankton dan Kualitas Kali Surabaya*, Program Skripsi Teknik Lingkungan UPN "Veteran" Jatim, Surabaya
- Handayani, S.T., dkk., 2007, *Penentuan Status Kualitas Perairan Sungai Brantas Hulu Dengan Biomonitoring Makrozoobentos : Tinjauan Dari Pencemaran Bahan Organik*
- Hariyadi, S., 2001, *Penentuan Strategi Konsevasi Kali Surabaya Ditinjau Dari Aspek Ekologi*, Program Skripsi Teknik Lingkungan UPN "Veteran" Jatim, Surabaya.
- Kodoatie, R.J. dan Sjarief R., 2005, *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu*, Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- Lamb, J.C., 1985, *Water Quality And Its Control*, John Wiley & Sons, Inc., Canada.
- Makrup, Lalu. 2001, *Dasar – dasar Analisis Aliran di Sungai dan Muara*, UII Press, Jogjakarta.
- Priyanti, Aryunani, 2006, *Penentuan Kondisi Ekologi Kali Surabaya Sebagai Upaya Strategi Pembangunan Daerah Aliran*

Sungai Surabaya, Program Skripsi
Teknik Lingkungan UPN “Veteran”
Jatim, Surabaya.